捺染工場廃水からの窒素除去

Nitrogen Removal from Dyeing-Industry Wastewaters

山際秀誠¹、高辻 渉¹、花本敏和¹、中岡元信¹、古川憲治²

¹和歌山県工業技術センター／〒649-6261 和歌山市小倉60

²熊本大学大学院自然科学研究科／〒860-8555 熊本市黒髪2-39-1

YOSHINOBU YAMAGIWA¹, WATARU TAKATSUJI¹, TOSHIKAZU HANAMOTO¹,
MOTONOBU NAKAOKA¹, and KENJI FURUKAWA²

¹Industrial Technology Center Wakayama Prefecture
/60, Ogura, Wakayama city, 649-6261, Japan

²Graduate School of Science and Technology, Kumamoto University
/2-39-1, Kurokami, Kumamoto city, 860-8555, Japan

Abstract

Wastewater from dyeing-industry contains high levels of organic nitrogen deriving from urea. Thus, effective nitrogen removal process is needed to reduce effluent nitrogen concentration below effluent nitrogen standard before discharging effluent to receiving waters. We have developed the novel non-woven support-surrounded cell (SSC) process for the effective and economical nitrogen removal process and acquired a patent with this process. We set up a pilot-scale SSC reactor in the dyeing-industry and continuous nitrification / denitrification treatment experiments were conducted using wastewaters from the dyeing-industry. In case of no pre-aeration treatment before the SSC treatment process using activated sludge, nitrification did not proceed and a lot of paste materials were attached on the surface of non-woven fabrics. Therefore, pre-aeration process with HRT of 12 hours before the SSC treatment process was evaluated. Most oils were degraded from the dyeing-industry wastewaters during pre-aeration process and nitrification and denitrification reactions occurred in SSC reactors. By the combination of pre-aeration process with HRT of 12 hours and the SSC treatment process using activated sludge with HRT of 1.5 days, a total-nitrogen removal efficiency of about 38% was obtained without adding an organic carbon source.

Key words: non-woven, dyeing wastewater, nitrification, denitrification

1. 緒言

瀬戸内海等の閉鎖性水域の水質保全を目的に、第5次水質総量規制において総合的な汚濁負荷削減対策を推進するため、従来のCODに加え、窒素およびリンが総量規制の対象になった。和歌山県では繊維工業が有力な地場産業の一つであるが、捺染染色業では、尿素を多量に使用しているため、廃水からの窒素除去が大きな問題とな

っている。染色廃水中には尿素由来の有機態窒素が多く含まれるため、これを物理化学的に処理するにはまず有機態窒素をアンモニア態窒素に変換しなければならない。さらに、染色廃水中には窒素以外にも多くの有機物が含まれているため、生物処理も必要となる。このため、多くの捺染染色業では標準活性汚泥法を用いた生物処理が行われている。

生物学的な窒素除去においては、好気処理による硝化

過程と嫌気処理による脱窒過程とを組み合わせる方式で行うのが一般的であるが、硝化菌は増殖速度が遅いため曝気槽中での汚泥滞留時間を長くする必要があり、このため包括固定化法^{1,2)}や膜分離法^{3,4)}などが検討されている。また、硝化菌と脱窒菌を同時に固定化することにより、好気条件下で硝化・脱窒を行う方法⁵⁻⁸⁾も研究されている。さらに近年では、従来の硝化・脱窒プロセスとは異なる代謝経路で窒素除去が可能になるANAMMOX反応のような技術⁹⁻¹¹⁾も研究されている。しかし、捺染染色業はすでに、曝気槽や凝集沈殿等の手法を組み合わせる廃水処理を行っている企業が多く、脱窒のための嫌気槽の設置費用や好気槽から嫌気槽への返送運転の維持費用、またANAMMOX反応槽の新規設備費用など、中小企業にとって脱窒プロセスの設置は大きな負担になってしまう。

我々はポリエステル製不織布を活性汚泥の付着固定化担体として用いる固定化材を開発し、これを曝気槽に設置することによって、合成下水からの窒素除去が可能となる廃水処理システムを開発し¹²⁻¹⁴⁾、特許を取得した。この処理システムを用いて合成染色廃水の連続硝化・脱窒処理試験を行ったところ、水理学的滞留時間 (HRT) 1日の曝気槽中に固定化材を設置することによって、窒素除去が可能となることを確認した¹⁵⁾。この処理システムの実用化を目指し、我々は捺染染色業にパイロットプラントを用いた染色実廃水の連続硝化・脱窒試験を実施し、本廃水処理システムの実用性について検討を行った。

2. 実験材料並びに方法

2.1 固定化材 (Support Surrounded Cell: SSC)

Fig. 1に使用した固定化材を示す。日本バイリーン(株)

Fig. 2 Schematic diagram of pilot scale plant using SSC reactor

社製のポリエステル製不織布MB-T9 (縦75cm、横50cm、厚み9mm)をSSCの両面に1枚または3枚を重ねてセットし、フレームで保持体に固定した。廃水および空気は不織布を通してのみSSC内部に入ることが可能となるように設計している。

2.2 パイロットプラント試験

和歌山市の染色業A社の工場内にある廃水処理設備 (捺染工程から排出される染色廃水を標準活性汚泥法により処理を行っている)にFig. 2に示したフローのパイロットプラントを設置した。700lの処理槽 (縦124cm、横61cm、高さ93cm)にA社の活性汚泥 (MLSS = 2,000-7,500mg/l)を投入した後に、SSCを設置した。SSCを4個設置した場合、槽内の嫌気部と好気部の容積比は2:3となる。SSC投入後、1日間空気曝気 (40 l/min)を行いSSCに汚泥を付着固定化させた (以後この槽をSSCリ

Fig. 1 Schematic diagram of non-woven support-surrounded cell (SSC)

アクタと呼ぶ)。その後、pH調整後の工場廃水を分取してSSCリアクタの曝気部（好気部）またはSSC内部（嫌気部）に投入し、HRTを0.7～2.5日に変化させて連続硝化・脱窒処理試験を行った。RUN 1とRUN 2では分取した廃水をそのまま処理槽に送るルート（Fig. 2, ルートA）を使用し、RUN 3とRUN 4では廃水を空気曝気してから処理槽に送るルート（Fig. 2, ルートB）を使用した。運転条件をTable 1にまとめた。比較対照として同じスケールでの標準活性汚泥法による処理試験を行った。供試工場廃水の各成分濃度をTable 2に示した。リン源については工場の廃水処理設備でもリン酸溶液を別途添加していることから、今回のパイロット試験においても工場廃水に85%リン酸を1,000倍希釈した溶液を2 ml/minで添加した。なお、Table 2中のpH値は、系内に流入する廃水にpH異常があったRUN 4の70～92日のデータは反映させなかった。

2. 3 ノルマルヘキサノ抽出物質（n-H_x）除去試験

A社の工場廃水2 lをビーカーに入れ、空気曝気（通気量：2 l/min）を行い、染色廃水に含まれるn-H_xと溶存酸素（DO）濃度の経時変化を調べた。

Table 1 Operational conditions for continuous treatment of dyeing wastewater

	RUN1	RUN2	RUN3	RUN4
Initial MLSS (mg/l)	4,000	2,000	7,500	7,200
Addition of NaHCO ₃ *	—	+	+	+
Feed route	A	A	B	B
pre-aeration	—	—	+	+

*300 g/day

Table 2 Composition of dyeing wastewater

COD _{Mn}	330 ± 80 mg/l
TOC	210 ± 80 mg/l
IC	130 ± 90 mg/l
n-H _x	145 ± 10 mg/l
T-N	210 ± 70 mg/l
NH ₄ -N	60 ± 60 mg/l
NO _x -N	1 ± 0.3 mg/l
T-P	1.1±0.7 mg/l
pH	8.7±0.8

2. 4 分析方法

酸化態窒素（NO_x-N、硝酸態窒素（NO₃-N）+亜硝酸態窒素（NO₂-N））は銅・カドミウムカラム還元－ナフチルエチレンジアミン吸光光度法（JIS K 0102-1998）により定量した。全窒素（T-N）、全炭素（TC）および無機態炭素（IC）は酸化触媒処理付属のガスクロマト装置（SUMIGRAPH GCT-12、株住化分析センター製）で測定した。有機態炭素（TOC）は全炭素から無機態炭素を差し引いて求めた。n-H_xは、液－液抽出法（JIS K 0102-1998）により定量した。pH、DO濃度は、それぞれDKK・TOA Co.のHM-20P、DO-21Pで測定した。

3. 結果と考察

3. 1 パイロットプラントによる連続硝化試験

まず、SSCリアクタの硝化能力を明らかにするために、染色業A社の染色廃水（pH調整後の廃水）をそのままSSCリアクタの曝気部に投入（Fig. 2, ルートA）し、連続硝化試験を行った（RUN 1）。比較のために同スケールでの標準活性汚泥法（conventional activated sludge: CASリアクタ）による連続処理試験も行った。初期MLSS濃度は4,000mg/lに設定した。Table 3にRUN 1, 2における処理成績を示した。RUN 1では、CASリアクタとSSCリアクタいずれも硝化反応は進行しなかった。この期間のSSCリアクタおよびCASリアクタ両槽での平均液温は約28℃、平均pHは約7.8程度であった。我々の以前の研究¹⁵⁾においても、合成染色排水を用いた場合に、無機態炭素源やリン源などの栄養源不足により、硝化活性が低下することを確認している。今回の実験では捺染染色排水中のT-P濃度はTable 2に示したように1.1±0.7mg/l程度であったが、系内にリン酸を添加することによって、

Table 3 Treatment results for CAS* and SSC reactors

	RUN1		RUN2	
	CAS reactor	SSC reactor	CAS reactor	SSC reactor
Nitrification efficiency(%)	0	0	53	0
TOC removal efficiency(%)	37	35	71	67
DO (mg/l)	1.0	3.3	0.8	2.2

RUN1; Inf.T-N = 182±65 mg/l, Inf.TOC = 201±44 mg/l

RUN2; Inf.T-N = 197±80 mg/l, Inf.TOC = 201±50 mg/l

*CAS (conventional activated sludge)

処理水中のT-P濃度は $4.8 \pm 2.1 \text{ mg/l}$ で残存していた。一方、無機炭素源はSSCリアクタおよびCASリアクタ両槽において、約 60 mg/l 程度残存していたが、さらに硝化活性を改善する為に、RUN 2では無機炭素源として炭酸水素ナトリウムを一日あたり 300 g 流入水に添加して、連続硝化試験を行った。試験条件はTable 1のRUN 2に示した。初期MLSS濃度は $2,000 \text{ mg/l}$ であった。この結果、CASリアクタによる処理での硝化率は平均 53% になったが、SSCリアクタでは硝化反応は進行しなかった。CASリアクタで硝化反応が進行したのは、試験期間中に活性汚泥の引抜を行わなかったため硝化菌が系外に流出しなかったためである。これに対し、SSCリアクタで硝化反応が進行しなかったのは、SSCの膜表面に糊状の物質（油分等）が付着し、膜表面での硝化菌の生育が阻害された可能性が高い。

また、RUN 1およびRUN 2ではSSCリアクタのTOC除去率はCASリアクタのTOC除去率とほぼ同等であった。SSCリアクタでの浮遊汚泥は平均で約 180 mg/l 程度にまで低下した。浮遊汚泥の減少により、曝気効率の改善が認められ、標準活性汚泥法で 1 mg/l 以下であったDO濃度が $2.2 \sim 3.3 \text{ mg/l}$ にまで上昇した (Table 3)。このことはSSCリアクタを使うことで曝気量の削減が可能であることを示すものである。

3.2 ノルマルヘキサン抽出物質の除去

工場から排出される廃液中には $n\text{-H}_x$ が含まれており、それがSSC表面での硝化菌の生育に悪影響を与えているとの判断から、 $n\text{-H}_x$ の除去について検討を行った。Fig. 3に $n\text{-H}_x$ 除去率とDO濃度の経時変化を示した。曝気開始6時間まではDO濃度が減少し、 $n\text{-H}_x$ の除去が急速に進んだ。その後は $n\text{-H}_x$ の除去が緩やかになり、DO濃度が上昇に転じた。最終的には、曝気開始から約12時間程度で、 $n\text{-H}_x$ 除去率は $70 \sim 80\%$ 程度、DO濃度は $5 \sim 6 \text{ mg/l}$ でほぼ一定となった。残存する $n\text{-H}_x$ は空気曝気だけでは除去が困難な物質であると考えられた。このことより、工場から排出される廃水中に含まれる $n\text{-H}_x$ の除去を行うためには少なくとも約12時間以上の空気曝気が必要であることが判った。なお、今回パイロットプラントを設置した染色工場の排水処理設備では、流量調整槽（滞留時間：約12時間）において空気曝気を行うことが可能であり、 $n\text{-H}_x$ の除去方法として空気曝気を用いた。しかしながら、一般的な加圧浮上法などの油分除去技術を適応することで、より低ランニングコストでの $n\text{-H}_x$ 除去が可能になるものと推測される。

Fig. 3 Changes in n -hexane extracts removal efficiencies and dissolved oxygen during aerobic treatment of dyeing wastewater
Symbols: ○, n -hexane extracts removal efficiencies; ▲, dissolved oxygen

3.3 空気曝気の効果

空気曝気を行うことで供試廃水中の $n\text{-H}_x$ を比較的容易に除去できることが明らかになったことから、試験設備にFig. 2, ルートBで示した空気曝気槽（ 1 m^3 のタンク2基直列に設置）を追加し、そこで空気曝気を行うことで、後段での硝化にどのような影響があるか検討した (RUN 3)。まず、MLSSが $7,500 \text{ mg/l}$ の活性汚泥槽に12時間空気曝気処理を行った廃水を添加して標準活性汚泥法による処理を行った。曝気槽でのHRTは2.5日に調整し、運転中は汚泥の抜き出しを行わなかった。 $\text{NO}_x\text{-N}$ 濃度とT-N濃度の経日変化をFig. 4に、TOC濃度の経日変化をFig. 5にそれぞれ示した。運転開始約10日目頃より硝化反応が進行し、40日を超えても高い硝化活性が維持された (Fig. 4-①、Fig. 5-①)。そこで、47日目にSSC 4個を曝気槽に設置し、SSCの設置効果について検討した (Fig. 4-②、Fig. 5-②)。廃水は好気部分に添加した。SSC投入直後、処理液中の $\text{NO}_x\text{-N}$ の低下が認められた。これは、処理水T-N濃度が低下していることから脱窒が起こったこと他に、SSCを設置することによって、系内の好気部分の容積が減少し、一時的にリアクタの硝化能力が低下したことが原因であると考えられた。SSCを曝気槽に設置することにより、曝気槽中の浮遊活性汚泥はSSCに付着固定化されてしまい、浮遊活性汚泥がほとんど認められなくなった。浮遊活性汚泥が曝気槽中にほとんど存在しない状態でも、SSCの設置から10日を過ぎた58日頃より再び硝化活性が上昇しており、硝化菌がSSCの膜面

Fig. 4 Changes in effluent nitrogen concentrations during continuous treatment of dyeing wastewater with pre-aeration (RUN3)
Experimental conditions: initial MLSS, 7,500 mg/l; non-wovens, MB-T9
Symbols: ○, effluent T-N; □, effluent $\text{NO}_x\text{-N}$; ---, average of influent T-N

Fig. 5 Changes in effluent TOC concentrations during continuous treatment of dyeing wastewater with pre-aeration (RUN3)
Symbols: ○, effluent TOC; ---, average of influent TOC

上で増殖したことを示している。次に、好気部分に添加していた流入水をSSC内部に添加するように変更し、連続硝化脱窒処理試験を継続した (Fig. 4-③、Fig. 5-③)。結果、処理水中のT-N濃度、TOC濃度の平均値はそれぞれ約125mg/l、約50mg/lになり、平均46%の脱窒率を達成することができた。TOCが残存しているにもかかわらず、脱窒率が向上しなかったことから、処理水中に残留しているTOC成分は難分解性のものであることが示唆された。

実際に、染色工場で使用されている原料から推測すると、廃水中にはポリビニルアルコールや鉱物油等の難分解性物質が含まれており、これらの物質が残留しているものと推測される。

3. 4 HRTの影響

以上の試験の結果、染色工場廃水に対して空気曝気による前処理を12時間行うことによってパイロットプラントにおいても高い硝化活性が長期安定的に維持出来ると共に、脱窒も起こることが確認できた。そこで、空気曝気による前処理を行った廃水をSSCの内部に添加する連続硝化脱窒処理試験について、HRTを変化させた連続処理試験を行った (RUN 4)。試験条件はTable 1のRUN 4に示した。初期MLSSは7,200mg/l、空気曝気槽でのHRTは12時間で行った。SSCを曝気槽中に4個設置し、廃水は4個のSSCの内部 (嫌気部分) にそれぞれ添加した。SSCリアクタでのHRTを経過日数0～36日は2.5日、36～71日は1.5日、71～94日は0.7日、94～113日は1.5日、113日以降は1.0日に変化させた。処理水中の $\text{NO}_x\text{-N}$ 濃度とT-N濃度の経日変化をFig. 6に、処理水TOCとpHの経日変化をそれぞれFig. 7, 8にそれぞれ示した。また、各区分での窒素除去率、硝化率をTable 4に示した。運転開始後10日目頃より硝化反応が進み、HRTが2.5日では硝化率は平均72%で脱窒率は平均22%になった。HRTが1.5日では硝化率は平均86%、脱窒率は平均38%になった。脱窒率がこの値にとどまったのは、脱窒反応に必要な水素供与体としての有機炭素源が不足したものと考えられる。HRTを0.7～2.5日に変化させた場合にも処理水TOC濃度はほぼ同程度であることから、処理水中に残留しているTOC成分はポリビニルアルコールや鉱物油等の難分解性のものであり、脱窒の水素供与体としては不適な物質であると考えられた。HRTを0.7日と短くすると硝化率、脱窒率ともに低下した。これはHRTが短くなったことも一因であると考えられるが、この区間ではpH 9以上の廃水が流入してくる日が続き、SSCリアクタ内のpHが上昇したために、硝化菌と脱窒菌の活性がpHの影響で低下したものと考えられる (Fig. 8)。HRTを再び1.5日に戻すと、硝化率は平均62%に改善したが、脱窒率は19%と低かった。これは、流入TOC濃度が平均約80mg/lであり、脱窒の有機炭素源として分解できるものがほとんどなかったためである。その後、HRTを1.0日とした時には、硝化率は平均44%、脱窒率は平均13%に低下し、HRTの不足が認められた。

今回の実験では、捺染工場排水からの窒素除去を行う

Fig. 6 Changes in effluent nitrogen concentrations during continuous treatment of dyeing wastewater with pre-aeration (RUN4)
Experimental conditions: initial MLSS, 7,200 mg/l; non-wovens, MB-T9; R.T., 0.7-2.5days
Symbols: ○, effluent T-N; □, effluent $\text{NO}_x\text{-N}$; ---, average of influent T-N

Fig. 7 Changes in effluent TOC concentrations during continuous treatment of dyeing wastewater with pre-aeration (RUN4)
Symbols: ○, effluent TOC; ---, average of influent TOC

Fig. 8 Changes in effluent pH during continuous treatment of dyeing wastewater with pre-aeration (RUN4)
Symbols: ●, influent pH; ○, effluent pH

為に、SSCリアクタのHRTを1.5日以上とし、約12時間の空気曝気で前処理した廃水をSSCリアクタの嫌気部分に添加することによって、有機態炭素源の添加なしに平均約38%の窒素が除去できる可能性を示すことが出来た。ただし、実用化の為にはより除去効率が高くかつ安定した処理が出来なければならない。そのためにも、今後は有機態炭素源の添加や、より短い滞留時間での処理についての検討を行う必要がある。

4. まとめ

SSCを設置したパイロットプラントを用いて捺染工場廃水の硝化・脱窒処理試験を行い次の結果を得た。

1. SSCリアクタで工場廃水を前処理無しに硝化・脱窒処理を行うと、無機炭素源の有無にかかわらず、硝化反応はほとんど進行せず、SSCの生物膜面上にの

Table 4 Results of continuous treatment experiment for dyeing wastewater with SSC reactor (RUN4)

Time (days)	Inf. T-N (mg/l)	Eff. T-N (mg/l)	Nitrogen removal efficiency* (%)	Eff. $\text{NO}_x\text{-N}$ (mg/l)	Nitrification efficiency* (%)
0-36	233±46	185±41	22	121±25	72
36-71	207±42	134±27	38	102±22	86
71-94	258±54	211±44	19	38±22	35
94-113	206±19	167±20	19	90±43	62
113-143	227±46	200±38	13	73±17	44

*Nitrogen removal efficiency=[(Inf. T-N-Eff. T-N)/Inf. T-N]

*Nitrification efficiency=[(Eff. $\text{NO}_x\text{-N}$ +(Inf. T-N-Eff. T-N))/Inf. T-N]

り状の物質が付着した。

2. 工場廃水を12時間程度空気曝気による前処理を施すことによって、廃水中の n-H_4 を60%以上除去することができた。
3. 空気曝気による前処理を施した廃水に対しSSCを設置したリアクタで連続処理し、リアクタ内で硝化・脱窒反応が同時に進行することを確認した。
4. 空気曝気槽でのHRTを12時間、SSCリアクタでのHRTを1.5日以上とすることで、廃水へのTOC源の添加無しに、約38%の脱窒率を得ることが出来た。

参考文献

- 1) K. Furukawa, A. Ike, S. Ryu, and M. Fujita: Nitrification of $\text{NH}_4\text{-N}$ Polluted Sea Water by Immobilized Marine Nitrifying Sludge (AMNS). J. Ferment. Bioeng., **76**, pp.515-520 (1993)
- 2) T. Yu-Li: Inhibitor Evaluation with Immobilized *Nitrobacter agilis* Cells. Appl. Environ. Microbiol., **52**, p.231 (1986)
- 3) T. Tashiro, Y. Suwa, and T. Yamagishi: Ammonium oxidation by an activated sludge process with crossflow filtration. Hakkokogaku, **68**, pp.31-34 (1990)
- 4) 太田秀司、村上孝雄、瓜生昌弘：膜分離を適用したステップ流入式多段硝化脱窒法の開発、水環境学会誌、**28**、pp.689-696 (2005)
- 5) E. Kokufuta, M. Yukishige, and I. Nakamura: Coimmobilization of *Nitrosomonas europaea* and *Paracoccus denitrificans* Cells Using Polyelectrolyte Complex-Stabilized Calcium Alginate Gel. J. Ferment. Technol., **65**, pp.659-664 (1987)
- 6) K. Nakano, H. Iwasawa, O. Ito, T. J. Lee, and M. Matsumura: Simultaneous Nitrification-Denitrification under Constant Dissolved Oxygen Condition by Using Two Different Immobilization Carriers with Specific Oxygen Transfer Characteristics. Japanese J. Wat. Treat. Biol., **40**, pp.29-35 (2004)
- 7) 畑中千秋、水野康平、幡手泰雄：中空糸型バイオリアクターによる都市下水の高度処理、環境資源工学会誌、**52**、pp167-171 (2005)
- 8) 寺田昭彦、日比谷和明、常田聡、平田彰：メンブレンエアレーション法を応用した単一槽内有機物・窒素同時除去システム、用水と廃水、**46**、pp.64-71 (2004)
- 9) 今城麗、徳富孝明、古川憲治：Anammox プロセスに適したリアクターの検討、水環境学会誌、**28**、pp.185-190 (2005)
- 10) T. T. H. Hoa, L. N. Khanh, L. Zhijun, T. Fujii, M. Kinoshita, H. Okamoto, and K. Furukawa: Anammox Treatment Performance using Malt Ceramics as a Biomass Carrier. Japanese J. Wat. Treat. Biol., **42**, pp.159-168 (2006)
- 11) S. Qiao, Y. Cheng, Z. Liu, Y. Kawagoshi, A. Fujimoto, T. Koyama, and K. Furukawa: Anammox Treatment Potential in an Up-Flow Column Reactor using a Novel Acrylic Fiber Biomass Carrier. Japanese J. Wat. Treat. Biol., **43**, pp.31-41 (2007)
- 12) 高辻渉、阪井幸宏、中岡元信：和歌山県工業技術センター平成12年度研究報告、p.23 (2001)
- 13) 高辻渉、阪井幸宏、中岡元信：和歌山県工業技術センター平成13年度研究報告、p.23 (2002)
- 14) W. Takatsuji, M. Nakaoka, Y. Sakai, and K. Furukawa: Novel Nitrogen Removal Process Using Attached Activated Sludge. Japanese J. Wat. Treat. Biol., **38**, pp.211-218 (2002)
- 15) 山際秀誠、高辻渉、中岡元信、古川憲治：污泥付着固定化材を用いた染色廃水からの窒素除去、日本水処理生物学会誌、**41**、pp.1-7 (2005)

(受付 2008. 9. 3)

(受理 2009. 7. 29)